



УДК 543, 577
ББК 5, 30

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ КАТАРАКТЫ НА РАННЕЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ

Р.Ш. Затрудина, К.С. Ивина, Н.В. Марусин

В работе приведен обзор существующих на данный момент методов и приборов для диагностики катаракты, описаны основные различия и оценены преимущества и недостатки этих методов. Показана возможность создания нового метода, не имеющего указанных недостатков.

Ключевые слова: катаракта, диагностика, интерференция, хрусталик, ретинометр, офтальмология, нефелометрия.

Введение

Катаракта – заболевание глаз, характеризующееся помутнением хрусталика [18]. Одной из основных проблем современной офтальмологии является значительное увеличение заболеваемости катарактой. Данная тенденция отягощается отсутствием эффективных консервативных методов лечения помутнения хрусталика [12]. В России же катаракта является одной из основных причин потери зрения у населения. Хирургическое лечение катаракты сегодня не является сколь-либо сложной проблемой [1]. Тем не менее, на данный момент не существует каких-либо консервативных методов лечения помутнения хрусталика.

Выявляемые клинически изменения хрусталиков соответствуют, как правило, необратимой стадии заболевания, когда терапевтическое вмешательство малоэффективно. Возможность изучать ранние стадии развития катаракты у человека практически отсутствует [7]. Тем не менее, ведутся разработки консервативных методов борьбы с помутнением хрусталика [9]. Но как бы далеко ни шагнул прогресс в сфере терапевтического лечения катаракты, любые исследования будут неоправданны, а результаты – бесполезны, если своевременно не будут найдены доступ-

ные, несложные в применении и обслуживании, а также материально выгодные способы диагностики катаракты на тех стадиях, когда терапевтическое вмешательство целесообразно и может принести результат. Поэтому встает вопрос об изобретении современного прибора, который будет удовлетворять всем перечисленным выше условиям.

В настоящее время существует несколько методов диагностики катаракты на ранней стадии: визуальный, флюоресцентный, поляризационный и нефелометрический. Тем не менее, все существующие и используемые на сегодняшний день методы оценки прозрачности обладают рядом существенных недостатков. Основные из них – отсутствие мобильности и специальные требования к условиям работы и обслуживанию [1].

1. Визуальный метод

Визуальный метод диагностики заключается в прямом осмотре глаза без использования каких-либо приборов либо с использованием простейших изобретений для облегчения осмотра: таких, как дополнительно подведенное освещение, приборы для детального осмотра внутренностей глаза (линзы, рефлекторы, офтальмоскопы), медикаментозные препараты для расширения зрачка и средства регистрации с помощью фотосъемки (например, ретроиллюминационная фотография глаза [37]). Визуальный метод осмотра является простейшим и лежит в основе других, более

сложных методов исследования глаза. С его помощью относительно достоверно можно определить катаракту на достаточно поздних стадиях развития.

Подход, основанный на изучении глаза при помощи щелевой лампы, заключается в наблюдении прозрачных структур глаза через микроскоп при освещении узким («щелевым») пучком света. При этом можно менять не только высоту микроскопа относительно направления освещения, но и телесный угол обзора [1]. Данная техника позволяет проводить осмотр и оценку прозрачности роговицы, разных слоев хрусталика и стекловидного тела [1; 26].

Практически сразу после изобретения «щелевой» лампы в работе Э. Финчема [28] была описана фотосъемка изображения роговицы и хрусталика, полученная с использованием щелевой лампы. Однако описанный метод не получил распространения из-за сложности осуществления и невозможности достижения необходимой четкости фотоснимка [1].

В 1940 г. в работе Х. Голдмана [30] было предложено устройство, позволяющее при фотосъемке избежать перспективного искажения, но не искажения косой проекции. Вместо обычного фотоаппарата в нем используется специальная камера, в которой пленка наматывается на барабан, способный вращаться по мере перемещения прибора вдоль оптической оси осветителя. При этом в сопряженный фокус объектива такой фотокамеры через щелевую диафрагму последовательно попадает изображение всех точек оптического среза, которое фиксируется на пленке. Диафрагма дает изображение участка оптического среза, лежащего в фокальной плоскости объектива. Угол между лучом осветителя и положением объектива камеры составляет 45° , диафрагма – 1:4. Это устройство имело существенный недостаток: помимо сложности конструкции, оно не позволяло делать моментальную фотографию.

Снимки, получаемые при фотоофтальмометрии (способ, основанный на фотографировании линзы под углом 40° относительно направления пучка света «щелевой» лампы), описанные в работе А.И. Дашевского [5], не были достаточно резкими. Поэтому фотоофтальмометрия не получила широкого распро-

странения. Затем она была модифицирована [4] за счет изменения расположения фотоаппарата для получения четкой фотографии всех отделов глаза сразу.

В работе В.Н. Гридина и др. [1] описан метод оценки степени помутнения линзы по величине ее светорассеяния, в основе которого лежал эффект Тиндаля. Микротиндалеметрия позволяла оценивать степень помутнения «на глаз», так как яркость оптической среды глаза сравнивалась в микроскопе самим исследователем с яркостью эталонного поля, которое менялось с помощью набора светофильтров. Тиндале-феномен оценивается в нескольких точках – обычно в шести-восьми: в центре роговицы, в разных точках ядра хрусталика и самого хрусталика. В результате проведенных исследований было обнаружено, что с возрастом у людей повышается светорассеяние роговицы и линзы. При этом помутнение, связанное с возрастными изменениями, более выражено для хрусталика, а именно для его передней, задней поверхностей и эмбрионального ядра [там же]. Тем не менее, после описания данного метода не последовало много исследований с применением устройств, основанных на этом методе.

В 70-х гг. была разработана установка для оценки прозрачности хрусталика в «щелевой» лампе [31; 35; 36], названная шаймплюг-камерой. В ее основу был заложен принцип австрийского картографа Т. Шаймпфлюга [1]. Изображение наклонно расположенного объекта в щелевой лампе формируется так, что плоскости объекта, его изображения и объектива пересекаются. В результате проводится фотографирование сагитального изображения переднего сегмента глаза таким образом, что фокус расположен между передней поверхностью роговицы и задней поверхностью хрусталика. Камеру можно вращать на 180° вдоль оптической оси. Всем перечисленным методам присущ общий недостаток: громоздкое, дорогое фотографирование и последующий длительный денситометрический анализ негативов.

2. Флюоресцентный метод

Флюоресцентный метод заключается в регистрации накопленных в хрусталике продук-

тов фотоокисления белков и липидов. В результате этого окисления в хрусталике происходит накопление токсических продуктов. Такие «обломки» разрушенных светом или активными формами кислорода молекул ускоряют развитие катаракты. Они обладают характерной голубой флюоресценцией с максимумом при 420–480 нм (возбуждение при 340–360 нм). Именно это явление пытаются использовать для диагностики ранней катаракты [1; 33].

На флюоресцентном методе основана описанная в работе К.П. Павлюченко и др. [16] ультрафиолетовая шаймпфлюг-камера. Для повышения чувствительности ультрафиолетовой шаймпфлюг-камеры желателен использование мощных источников коротковолнового света. Хрусталик глаза млекопитающих очень чувствителен к действию ультрафиолета, что является одной из главных причин, по которой применение ультрафиолетового света в офтальмологических приборах не получило широкого распространения [1].

3. Поляризационный метод

Распространение света в рассеивающих средах может характеризоваться поляризационными свойствами среды, которые определяются размерами, рефракцией, морфологией, внутренней структурой и оптической активностью материала рассеивателей [2; 3; 6; 19; 21; 32; 34; 40].

Поляризационные характеристики упруго рассеянного света описываются матрицей рассеяния (MPC), каждый из 16 элементов которой зависит от длины волны, размеров, формы и материала рассеивателей [25]. Измерения угловых зависимостей элементов MPC [10–11; 13–15; 19–20; 25; 27; 32; 38; 39] для хрусталиков показывают существенные различия этих зависимостей для нормальных и мутных (катарактальных) хрусталиков. Эти различия обусловлены появлением больших несферических рассеивающих частиц в среде мутного хрусталика [25].

В работе К.В. Трутневой и др. [8] была предложена оригинальная поляриметрическая приставка к «щелевой» лампе для осмотра хрусталика человека *in vivo* [1]. Незрелые катаракты при обычной биомикроскопии обладают значительно более интенсивным рассеянием,

чем в поляризованном свете. Поэтому с помощью поляриметрической приставки можно точнее определить степень помутнения хрусталика, форму помутнения и его глубину. По мнению авторов статьи [16], исследование поляризации позволяет в ряде случаев объяснить расхождение между кажущейся степенью помутнения линзы и довольно высокой остротой зрения у больных катарактой [1].

Еще более ценным при использовании поляриметрии оказалось то, что она позволяет выявлять наиболее ранние стадии катаракты, которые пока не способна уловить никакая другая диагностическая техника [16].

4. Нефелометрический метод

Нефелометрический метод основан на регистрации рассеянного или отраженного от глаза излучения.

В 1988 г. был продемонстрирован линзметр, измерения прозрачности линзы живого глаза в котором основано на регистрации отраженного света [1]. Чем сильнее выражена катаракта, тем больше рассеяние на хрусталике и меньше отраженного света попадает на детектор прибора. Прибор очень прост в использовании. Встроенный микрокомпьютер проводит сразу статистическую обработку результатов измерений. Осмотр и анализ одного пациента занимают несколько минут [там же]. Одно из главных ограничений применения данного прибора – невозможность различить отраженный свет от роговицы и хрусталика [1; 29].

В работе В.Н. Гридина и др. [1] предложена технология диагностики катаракты с помощью волоконно-оптического анализатора, позволяющая выявить возникновение ранней катаракты глаза. Принцип действия волоконно-оптического анализатора основан на измерении рассеянного объектом света, прямо прошедшего через объект или отраженного от его поверхностей. Поток некогерентного излучения высокой по отношению к среде хрусталика проникающей способности направляется через световод, чем обеспечивается его высокая концентрация или фокусировка и необходимая направленность. Это излучение, пройдя через оптическую систему глаза, преломляясь и отражаясь от границ раздела сред, возвращается обратно, и может быть зафик-

сировано. Очевидно, что интенсивность зафиксированного излучения зависит в том числе и от мутности хрусталика [1].

В оптических когерентных ретинометрах анализ остроты зрения реализуется путем создания на сетчатке глаза системы интерференционных полос различного периода и различной ориентации. Развитие катаракты приводит к визуально наблюдаемому размытию этих полос. Для создания интерференционной картины разработаны интерферометры различной конструкции [22].

В Патенте ФРГ № 2616139, работах А.В. Приезжева и др., Б.Е.А. Салеха, В.П. Рябухо [17; 19; 22–24] описаны четыре оптических интерференционных ретинометра, основное отличие которых заключается в элементе, выступающем в роли делителя пучка света. В Патенте ФРГ № 2616139 [17] это стеклянная пластина определенной толщины, в работе А.В. Приезжева и др. [19] – две плоскопараллельные стеклянные пластины, в работе Б.Е.А. Салеха [24] – непрозрачный экран с парой микронеоднородностей в виде отверстий. В работах В.П. Рябухо [22; 23] описан ретинометр с лазерным диодом, в котором используется делитель пучка света в виде экрана с множеством пар микронеоднородностей, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга в одном заданном направлении. Основными недостатками первых двух приборов являются сложная конструкция, сложность настройки интерферометра и необходимость использования высококогерентного лазерного источника света. Для третьего же устройства требуется достаточно мощный источник света со сравнительно малым телом светимости [23].

Выводы

Большая часть вышеперечисленных методов и приборов для диагностики требует применения сложного дорогостоящего стационарного оборудования. Невозможно использовать данные устройства вне специальных условий, которые имеются далеко не в каждом медпункте.

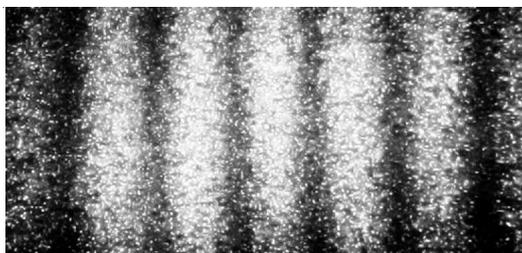
Таким образом, возникает необходимость в доступном и портативном приборе, имеющем максимально упрощенную конструкцию, лишенном отмеченных недостатков, несложном в применении и не требующем постоянного технического обслуживания.

Нами предложена новая схема интерференционного ретинометра, в которой интерференционные полосы формируются с помощью моноблочного интерферометра Майкельсона. Такая модификация уже существующих ретинометров позволяет упростить их конструкцию и уменьшить стоимость.

В качестве источника света используется полупроводниковый лазер с длиной волны излучения 650 нм. Деление пучка осуществляется в интерферометре Майкельсона. Для наблюдения и регистрации интерференционной картины используется микроскоп.

Применимость предложенного метода оценивалась на глаза *in vitro*. Характерные интерферограммы представлены на рисунке.

Как видно из представленных результатов, наблюдается хорошо заметное размытие интерференционных полос, что говорит о достаточной чувствительности прибора к помутнениям хрусталика.



а



б

Интерференционные картины, полученные на:

а) модели хрусталика;

б) экстрагированном помутневшем глазу животного

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ возможности исследования катаракты глаза с помощью волоконно-оптического анализатора / В. Н. Гридин [и др.] // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2008. – № 2. – С. 43–53.
2. Борен, К. Поглощение и рассеяние света малыми частицами / К. Борен, Д. Хафмен. – М.: Мир, 1986. – 664 с.
3. Ван-де-Хюльст, Г. Рассеяние света малыми частицами / Г. Ван-де-Хюльст. – М.: ИЛ, 1961. – 536 с.
4. Вязовский, И. А. Усовершенствование техники фотосъемки оптических срезов роговицы и хрусталика / И. А. Вязовский // Офтальмологический журнал. – 1961. – Т. 14, № 4. – С. 227–232.
5. Дашевский, А. И. Новые методы изучения оптической системы глаза и развития его рефракции / А. И. Дашевский. – Киев: Госмедиздат УССР, 1956. – 164 с.
6. Долгинов, А. З. Распространение и поляризация излучения в космической среде / А. З. Долгинов, Ю. М. Гнездин, Н. А. Силантьев. – М.: Наука, 1979. – 424 с.
7. Измерение характеристик и экспрессии генов ξ -кристаллинов в хрусталиках крыс OXYS при развитии катаракты / Ю. В. Румянцева [и др.] // Биохимия. – 2008. – Т. 73, № 11. – С. 1467–1475.
8. Использование телевидения в офтальмологии / К. В. Тругнева [и др.] // Материалы 4-й Все-союз. конф. «Биологическая и медицинская электроника». – Ч. 2. – Свердловск, 1972. – С. 45–47.
9. Комаров, С. М. Катаракта под микроскопом / С. М. Комаров // Химия и жизнь – XXI век. – 2007. – № 11. – С. 22.
10. Королевич, А. Н. Влияние агрегированных крупных биологических частиц на элементы матрицы рассеяния света / А. Н. Королевич, А. Я. Хайруллина, Л. П. Шубочкин // Оптика и спектроскопия. – 1994. – Т. 77, № 2. – С. 278–282.
11. Королевич, А. Н. Матрица рассеяния монослоя оптически «мягких» частиц при их плотной упаковке / А. Н. Королевич, А. Я. Хайруллина, Л. П. Шубочкин // Оптика и спектроскопия. – 1990. – Т. 68, № 4. – С. 403–409.
12. Корсакова, Н. В. Морфофункциональная характеристика гистаминсодержащих структур хрусталика в ранние сроки химического раздражения глазного яблока / Н. В. Корсакова // Оригинальные исследования. – 2004. – Т. 126, № 6. – С. 37–39.
13. Максимова, И. Л. Матрицы рассеяния света хрусталика глаза / И. Л. Максимова, В. В. Тучин, Л. П. Шубочкин // Оптика и спектроскопия. – 1988. – Т. 65, № 3. – С. 615–621.
14. Максимова, И. Л. Эффекты многократного рассеяния в биообъектах при лазерной диагностике / И. Л. Максимова, С. Н. Татаринцев, Л. П. Шубочкин // Оптика и спектроскопия. – 1992. – Т. 72, № 5. – С. 1171–1177.
15. Методы и аппаратура для лазерной диагностики в офтальмологии / И. Л. Максимова [и др.] // Изв. АН СССР. Серия Физическая. – 1990. – Т. 54, № 10. – С. 1918–1926.
16. Павлюченко, К. П. Новые данные о поляризационно-оптических свойствах хрусталика К. П. Павлюченко, Н. Н. Кривенко // Офтальмологический журнал. – 1988. – № 2. – С. 111, 112.
17. Патент ФРГ № 2616139, МПК А 61 В 3/10, 1978.
18. Покровский, В. И. Малая медицинская энциклопедия. Т. 2 / В. И. Покровский. – М.: Советская энциклопедия, 1991. – 624 с.
19. Приезжев, А. В. Лазерная диагностика в биологии и медицине / А. В. Приезжев, В. В. Тучин, Л. П. Шубочкин. – М.: Наука, 1989. – 238 с.
20. Приезжев, А. В. Лазерная микродиагностика оптических тканей глаза и форменных элементов крови / А. В. Приезжев, В. В. Тучин, Л. П. Шубочкин // Изв. АН СССР. Серия Физическая. – 1989. – Т. 53, № 8. – С. 1490–1498.
21. Рвачев, В. П. Методы оптики светорассеивающих сред в физике и биологии / В. П. Рвачев. – Минск: БГУ, 1978. – 239 с.
22. Рябухо, В. П. Оптические когерентные анализаторы ретиальной остроты зрения (оптические ретинометры) / В. П. Рябухо. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.sgu.ru/faculties/physical/Poster/r.php>. – Загл. с экрана.
23. Рябухо, В. П. Оптический интерференционный ретинометр / В. П. Рябухо. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: http://www.ntpo.com/patents_medicine/medicine_7/medicine_2222.shtml. – Загл. с экрана.
24. Салех, Б. Е. А. Оптическая обработка информации и зрение человека / Б. Е. А. Салех // Применение методов фурье-оптики / под ред. Г. Старка; пер. с англ. под ред. И. Н. Компанца. – М.: Радио и связь, 1988. – С. 412–439.
25. Тучин, В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния / В. В. Тучин // Успехи физических наук. – 1997. – Т. 167, № 5. – С. 517–539.
26. Урмахер, Л. С. Приборы для исследования переднего отдела глаза и глазного дна / Л. С. Урмахер, З. Ш. Шапиро, В. В. Набатчиков. – М.: Машиностроение, 1970. – 54 с.
27. Dreher, A. W. Retinal laser ellipsometry: a new method for measuring the retinal nerve fiber layer thickness distribution / A. W. Dreher, K. Reiter // Clin Vision Sci. – 1992. – P. 481–488.
28. Fincham, E. F. The mechanism of accommodation / E. F. Fincham // British Journal of Ophthalmology, Monograph Supplement VIII. – 1937. – P. 7–80.

29. Flaramer, J. Lens opacity meter. a new instrument to quantify lens opacity / J. Flaramer, H. Bebie // *Ophthalmologica*. – 1987. – Vol. 195, № 2. – P. 69–72, 132.
30. Goldman, H. Spaltlampenphotographie und photometrie / H. Goldman // *Ophthalmologica*. – 1940. – Vol. 98, № 5. – P. 257–270.
31. Hockwin, O. Investigation a rat eyes with diabetic cataract and naphthalene cataract by Zeiss Scheimpflug Measuring system SLC / O. Hockwin, H. Laser, A. Wegener // *Craefeüs Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. – 1986. – Vol. 224, № 6. – P. 502–506.
32. Johnston, R. G. Polarized light scattering / R. G. Johnston, S. B. Singham, G. C. Salzman // *In Comments on Molecular and Cellular Biophysics*. – 1988. – Vol. 5. – P. 171–192.
33. Ogino, S. The ethyology of cataract and chemotherapy / S. Ogino // *Jap. Med.* – 1957. – № 1732. – P. 1–15.
34. Salzman, G. C. Light scattering and cytometry / G. C. Salzman [et al.] // *In Flow Cytometry and Sorting*, 2nd ed. / ed. M. R. Melamed, T. Lindmo, M. L. Mendelsohn. – N. Y. : Wiley, 1990. – P. 81–109.
35. Scheimpflug, T. Der Photoperspektograph und seine Anwendung / T. Scheimpflug // *Photos Korr.* – 1906. – B 43. – S. 516.
36. Scheimpflug Photography of the Anterior Eye Segment. Principle, Instrumentation and Application to Clinical and Experimental Ophthalmology / O. Hockwin [et al.] // *Journal of Ophthalmology Photography*. – 1986. – Vol. 9, № 2. – P. 104–111.
37. The objective Assessment of Cataract / N. A. Brown [et al.] // *Eye (Lond)*. – 1987. – Vol. 1, pt. 2. – P. 234–246.
38. Tissue Optics: Applications in Medical Diagnostics and Therapy / ed. V. V. Tuchin // *Book of selected papers, SPIE Milestone Series MS 102*, Bellingham, WA, USA, 1994.
39. Tuchin, V. V. J. Laser Applications / V. V. Tuchin // *Laser Inst of America*. – 1993. – № 5. – P. 43.
40. Van de Hulst, H. C. Multiple light scattering: Tables, formulas, and applications. – Vol. 1 / H. C. Van de Hulst. – N. Y. : Academic Press, 1980. – 336 c.

REVIEW OF MODERN METHODS OF DIAGNOSIS AT EARLY STAGE OF CATARACT

R.Sh. Zatrudina, K.S. Ivina, N.V. Marusin

This paper provides an overview of the currently existing methods and devices for the diagnosis of cataract. The main differences of these methods are described and also advantages and disadvantages of each of them are evaluated. The possibility of creating a new method that does not have these disadvantages is shown.

Key words: *cataract, diagnostics, interference, crystalline lens, retinometer, ophthalmology, nephelometry.*